

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE AGRONOMIA**

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM HERBICIDAS
INIBIDORES DE FOTOSISTEMA II E DA PROTOPORFIRINOGENO OXIDASE**

ERECHIM

2025

EDUARDA BATISTELLI GIACOMOLLI

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM HERBICIDAS
INIBIDORES DE FOTOSSISTEMA II E DA PROTOPORFIRINOGÊNIO OXIDASE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – *Campus* Erechim, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: D. Sc. Leandro Galon

ERECHIM

2025

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Giacomolli, Eduarda Batistelli

Fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores de fotossistema II e protoporfirinogênio oxidase / Eduarda Batistelli Giacomolli. -- 2025.
33 f.

Orientador: D. Sc. Leandro Galon

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Erechim,RS, 2025.

1. Despoluição de solo. 2. Biorremediação de herbicidas. 3. Carryover. I. , Leandro Galon, orient.
II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

EDUARDA BATISTELLI GIACOMOLLI

**FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM HERBICIDAS
INIBIDORES DE FOTOSISTEMA II E DA PROTOPORFIRINOGENO OXIDASE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – *Campus* Erechim, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho de conclusão foi defendido e aprovado pela banca em: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D. Sc. Leandro Galon – UFFS
Orientador

Prof. Dr. Alfredo Castamann – UFFS
Avaliador

Me. Rodrigo Tonin – UFFS
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), financiadora de Estudos e Projetos (FINEp) e a Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), pelo auxílio financeiro à pesquisa e pelas concessões de bolsas.

FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM HERBICIDAS INIBIDORES DE FOTOSSISTEMA II E DA PROTOPORFIRINOGÊNIO OXIDASE

RESUMO: O uso de espécies vegetais é uma técnica chamada de fitorremediação que pode ser utilizada na despoluição de áreas contaminadas com herbicidas que apresentem residual de solo. Diante disso objetivou-se com o trabalho avaliar o potencial fitorremediador de espécies vegetais em solos contaminados com herbicidas que apresentam efeito residual. O experimento foi conduzido a campo, em delineamento de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial ($3 \times 7 + 1 + 1$), com quatro repetições. O fator A foi composto pelos herbicidas (diuron - 490 g ha^{-1} , sulfentrazone - 245 g ha^{-1} e diuron+sulfentrazone - $490 + 245 \text{ g ha}^{-1}$), aplicados em pré-emergência e o B pelas espécies vegetais (mucuna-preta - *Stizolobium aterrimum*, feijão-de-porco - *Canavalia ensiformis*, crotalária - *Crotalaria juncea*, aveia de verão - *Sorghum sudanense*, brachiaria – *Urochloa decumbens*, milheto - *Pennisetum glaucum*, as misturas de crotalária, aveia de verão, brachiaria e milheto). Adicionalmente a esses tratamentos foi disposto uma testemunha sem aplicação de herbicidas e sem espécies vegetais. Aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a emergência (DAE) avaliou-se a fitotoxicidade dos herbicidas nas espécies com potencial fitorremediador. Aos 75 dias após a emergência (DAE), as espécies fitorremediadoras foram seccionadas rente ao solo, realizado aferição da AF, acondicionadas em sacos de papel *kraft* e postas para secagem em estufa para determinação de MS da parte aérea (MS). Na segunda etapa semeou-se o sorgo como espécie bioindicadora da despoluição do solo tratado com herbicidas. Aos 7, 14, 21 e 28 DAE avaliou-se a fitotoxicidade dos herbicidas ao sorgo. Aos 40 e 125 DAE foram aferidas as trocas gasosas e a MS do sorgo, respectivamente. A crotalária demonstrou ser a menos sensível à presença de todos os herbicidas aplicados. O diuron causou a menor fitotoxicidade a todas espécies. O maior acúmulo de MS do sorgo ocorreu quando semeou-se: o milheto e aplicou-se o diuron e diuron+sulfentrazone, a brachiaria para diuron e sulfentrazone, a mucuna, feijão-de-porco e a mistura de espécies ao se usar o sulfentrazone, a aveia de verão e a crotalária com aplicação de diuron+sulfentrazone e sem cobertura para a testemunha.

Palavras chave: Despoluição do solo. Biorremediação de herbicidas. *Carryover*.

FITOREMEDIATION OF SOIL CONTAMINATED WITH HERBICIDES INHIBITING PHOTOSYSTEM II (FS II) AND PROTOPORPHYRINOGEN OXIDASE (PROTOX)

ABSTRACT: The use of plant species is a technique called phytoremediation that can be used to clean up areas contaminated with herbicides that have a residual effect on the soil. The aim of this study was to evaluate the phytoremediation potential of plant species in soils contaminated with herbicides that have a residual effect. The experiment was conducted in the field, in a randomized block design, arranged in a factorial scheme (3 x 7 + 1 + 1), with four replications. Factor A consisted of the herbicides (diuron - 490 g ha⁻¹, sulphentrazone - 245 g ha⁻¹ and diuron+sulphentrazone - 490 + 245 g ha⁻¹), applied pre-emergently, and factor B consisted of the plant species (black muncun - *Stizolobium aterrimum*, pigeonpea - *Canavalia ensiformis*, crotalaria - *Crotalaria juncea*, summer oats - *Sorghum sudanense*, brachiaria - *Urochloa decumbens*, millet - *Pennisetum glaucum*, mixtures of crotalaria, summer oats, brachiaria and millet). In addition to these treatments, there was a control treatment with no herbicide application and no plant species. At 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days after emergence (DAE), the phytotoxicity of the herbicides on the species with phytoremediation potential was assessed. At 75 days after emergence (DAE), the phytoremediating species were cut off close to the ground, the PA was measured, they were packed in kraft paper bags and dried in an oven to determine the DM of the aerial part (DM). In the second stage, sorghum was sown as a bioindicator species for the depollution of soil treated with herbicides. The phytotoxicity of the herbicides to sorghum was assessed at 7, 14, 21 and 28 DAE. At 40 and 125 DAE, gas exchange and sorghum DM were measured, respectively. Crotalaria proved to be the least sensitive to the presence of all the herbicides applied. Diuron caused the least phytotoxicity to all species. The highest sorghum DM accumulation occurred when the following were sown: millet with diuron and diuron+sulfentrazone, brachiaria with diuron and sulfentrazone, mucuna, pigeonpea and a mixture of species when sulfentrazone was used, summer oats and crotalaria with diuron+sulfentrazone and no cover for the control.

Keywords: Soil remediation. Bioremediation of herbicides. Carryover.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fitotoxicidade (%) das coberturas com potencial fitorremediador aos 7 e 14 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.	30
Tabela 2. Fitotoxicidade (%) das coberturas com potencial fitorremediador aos 21 e 28 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.	30
Tabela 3. Fitotoxicidade (%) das coberturas com potencial fitorremediador aos 35 e 42 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.	30
Tabela 4. AF e MS da parte aérea das coberturas com potencial fitorremediador em função da aplicação de herbicidas. UFFS, Erechim-RS.....	31
Tabela 5. Fitotoxicidade (%) do sorgo aos 7 e 14 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.	31
Tabela 6. Fitotoxicidade (%) do sorgo aos 21 e 28 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.	31
Tabela 7. Concentração interna de CO ₂ (C _i) e taxa transpiratória (E) do sorgo em função da aplicação dos herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.	32
Tabela 8. Condutância estomática de vapores de água (G _s) e taxa fotossintética (A) do sorgo em função da aplicação dos herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.....	32
Tabela 9. Eficiência do uso da água (EUA) e MS do sorgo em função da aplicação dos herbicidas e uso de plantas com potencial fitorremediador de solo. UFFS, Erechim-RS.....	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4. CONCLUSÃO.....	24
REFERÊNCIAS	25

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil se tornou um dos maiores consumidores e usuários de agrotóxicos, e os herbicidas representam cerca de 45% do volume total aplicado no país (Sindiveg, 2024). Quando se compara com outros métodos de controle de pragas, o químico é o mais utilizado, devido a sua eficiência, praticidade e menor custo (Camacho et al., 2022). Alguns dos maiores problemas relacionados ao uso de agrotóxicos, especialmente quando se trata de herbicidas é o seu potencial de contaminação ambiental, atingindo áreas e vegetações não-alvo, especialmente aqueles que ocasionam *carryover*. Entre as técnicas investigadas para a despoluição do solo, a fitorremediação se destaca como uma das mais promissoras, esta que consiste na descontaminação do solo ou da água utilizando plantas e sua microbiota associada (Barroso et al., 2023; Oubohssaine & Dahmani, 2024; Iager et al., 2025).

Para o controle de plantas daninhas infestante das lavouras de soja no Brasil os produtores vêm utilizando, nos últimos anos, a mistura comercial composta por diuron + sulfentrazone, herbicidas inibidores do fotossistema II e da enzima protoporfirinogênio oxidase - PROTOX (Rodrigues & Almeida, 2018; AGROFIT, 2025). Esses herbicidas são utilizados em pré-emergência da soja, principalmente para o controle de plantas daninhas de difícil controle, ou seja, resistentes e/ou tolerantes ao glyphosate ou a outros produtos (Sousa et al., 2020; Galon et al., 2022; Albrecht et al., 2023). O uso de agrotóxicos de forma contínua, principalmente de herbicidas, além de ocasionar problemas relacionados com a resistência de plantas daninhas, pode causar impactos negativos ao meio ambiente, como a contaminação do solo, impossibilitando o cultivo de espécies sensíveis, em sucessão as aplicações, o chamado *carryover* (Salomão et al., 2020; Barroso, et al., 2023; Iager et al., 2025).

O diuron é um herbicida que inibe o Fotossistema II das plantas tratadas e sensíveis, apresenta amplo espectro de ação, controlando mono e dicotiledôneas (Lu et al., 2018; Tandon et al., 2019). No Brasil, o diuron é utilizado tanto em pré, como em pós-emergência e até mesmo em misturas formuladas com outros herbicidas para aplicação em várias culturas de interesse agrícola. Essa ampla utilização do diuron acarreta em contaminação do solo, pois é pouco lixiviável e tem alta persistência na camada de 0 a 10 cm (Li et al., 2021). A correção do pH do solo favorece a sua degradação apenas em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica, podendo chegar a um tempo de meia-vida próximo de 156 dias (Rocha et al., 2013).

O sulfentrazone é um herbicida inibidor da PROTOX, enzima responsável pela formação de clorofila nas plantas, sendo utilizado nas culturas de café, cana-de-açúcar, citrus, eucalipto, soja, em áreas não agrícolas, dentre outras (AGROFIT, 2025). É um herbicida que apresenta longo período residual no solo e inviabiliza o consequente cultivo de plantas sensíveis

a sua aplicação, ou seja, proporciona o chamado *carryover* (Ferraço et al., 2019; Damin et al., 2021). No solo, as moléculas persistentes podem ser degradadas por processos biológicos, químicos ou físicos, onde a mesma é lixiviada ou adsorvida nos colóides. Destaca-se ainda que solo com textura arenosa, alto pH e baixo teor de matéria orgânica favorecem para que ocorra a lixiviação de herbicidas (Alves et al., 2019).

A mistura comercial de diuron + sulfentrazone é composta por dois mecanismos de ação, inibidor de Fotossistema II e de PROTOX, respectivamente. A combinação dos dois herbicidas possibilita o controle de plantas daninhas infestantes de várias culturas, dentre elas, cana-de-açúcar, café, citrus, eucalipto e soja (AGROFIT, 2025). Essa mistura apresenta sinergismo, o que ocasiona um aumento do espectro de controle das plantas daninhas e do período residual. A mistura de herbicidas pode também auxiliar no manejo de plantas daninhas resistentes e tolerantes a determinadas moléculas, como por exemplo ao glyphosate (Sousa et al., 2020).

A forma com que um herbicida age no ambiente é influenciada por fatores físico-químicos do produto, de condições ambientais (luz, água e temperatura), de característica do solo (textura, matéria orgânica, CTC, pH), e também do manejo adotado nas lavouras (Damin et al., 2021). As interações entre a molécula e o ambiente modulam a dissipação e degradação dos produtos (Rocha et al., 2013). Uma forma de estimular a degradação dos herbicidas é melhorar as características físico-químicas do solo, por meio do cultivo de adubos verdes, o que favorece a reestruturação e atividade biológica do mesmo (Delarmelinda et al., 2010; Barroso et al., 2023; Iager et al., 2025).

Desse modo a seleção das espécies para fitorremediação é a etapa inicial do processo e deve ser realizada com cuidado, sendo necessário escolher plantas com características que favoreçam a absorção dos poluentes e a descontaminação do solo. Além disso, essas plantas devem apresentar rápido crescimento, fácil adaptação, bom estabelecimento inicial e que não se tornem futuras plantas daninhas nas lavouras onde forem cultivadas ou espécies de difícil controle (Silva et al., 2021; Barroso et al., 2023; Iager et al., 2025).

Assim sendo, espera-se com a realização desse trabalho, que as espécies, mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), crotalária (*Crotalaria juncea*), aveia de verão (*Sorghum sudanense*), brachiaria (*Brachiaria decumbens*), milheto (*Pennisetum glaucum*) e as misturas dessas espécies sejam capazes de descontaminar solo poluído com os herbicidas, diuron, sulfentrazone e a mistura comercial composta por diuron+sulfentrazone. Diante disso, objetivou-se com o trabalho avaliar o potencial fitorremediador de espécies vegetais em solos contaminados com herbicidas que apresentam

residual.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo na área experimental da UFFS, Campus Erechim/RS, latitude de 27°43'31" S, longitude 52°17'40" W e altitude de 650 m, durante os meses de outubro a junho, nos anos de 2022 a 2023. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico (Streck et al., 2018), com a seguinte caracterização edáfica: pH em água de 5,6; M.O. = 3,2%; P = 9,7 mg dm⁻³; K = 134,4 mg dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 6,7 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 3,1 cmol_c dm⁻³; CTC_{efetiva} = 10,1 cmol_c dm⁻³; CTC_{pH7} = 14,6 cmol_c dm⁻³; H+Al = 4,5 cmol_c dm⁻³; Saturação de bases = 69%, Argila = 65%, Silte = 17,13% e Areia = 6,97%. O clima predominante na região de acordo a classificação de Koppen é o Cfa, ou seja, clima temperado, com verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas, temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, com precipitação anual de 1.100 a 2.000 mm, geadas severas e frequentes, num período médio de ocorrência de dez a 25 dias anualmente (Peel et al., 2007). As condições meteorológicas como precipitação (mm) e temperatura média (°C) ocorridas durante o período de condução dos experimentos podem ser observadas na Figura 1.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial 3 x 7 + 1 + 1, com quatro repetições. O fator A foi composto pelos herbicidas (diuron - 490 g ha⁻¹, sulfentrazone - 245 g ha⁻¹ e diuron+sulfentrazone - 490 + 245 g ha⁻¹), aplicados em pré-emergência e o B pelas espécies vegetais (mucuna-preta - *Stizolobium aterrimum*, feijão-de-porco - *Canavalia ensiformis*, crotalária - *Crotalaria juncea*, aveia de verão - *Sorghum sudanense*, brachiaria – *Urochloa decumbens*, milho - *Pennisetum glaucum*, as misturas de crotalária, aveia de verão, brachiaria e milho). Adicionalmente a esses tratamentos foi disposto uma testemunha sem aplicação de herbicidas e sem espécies vegetais. O solo sem cultivo de coberturas foi mantido livre de vegetação por meio de aplicações de glyphosate (1440 g ha⁻¹) sempre que necessário, no mesmo período em que foram semeadas as espécies com potencial despoluidor até a semeadura do sorgo.

A semeadura das espécies foi realizada com semeadora/adubadora em parcelas com área de 3 x 6 m (18 m²) no sistema plante e aplique. A correção da fertilidade do solo foi efetuada conforme as recomendações técnicas para as espécies (CQFS-RS/SC, 2016). Os herbicidas foram aplicados logo após a semeadura utilizando-se um pulverizador costal de precisão, pressurizado a CO₂, com quatro pontas do tipo leque DG 110.02, sob pressão constante de 210 kPa e velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹, o que proporcionou uma vazão de 150 L ha⁻¹ de calda. No momento da aplicação dos herbicidas as condições ambientais

eram de; céu limpo, solo úmido, vento com velocidade de 3 a 4 km h⁻¹, umidade relativa do ar de 37%, temperatura do ar de 28,1°C e temperatura do solo 28°C.

Aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a emergência (DAE) realizou-se avaliações de fitotoxicidade dos herbicidas sobre as espécies com potencial fitorremediador. A fitotoxicidade foi avaliada de forma visual por dois avaliadores, atribuindo-se notas de zero (ausência de injúria) a 100% (morte das plantas) de acordo com a metodologia proposta pela SBCPD (1995).

Aos 75 DAE, as espécies fitorremediadoras foram seccionadas rente ao solo em área de 0,5 x 0,5 m para se aferir a AF das mesmas em medidor eletrônico de AF marca Licor modelo LI-3100C. Posteriormente as plantas foram acondicionadas em sacos de papel *kraft* e postas para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de 60±5°C, por período de três dias até demonstrarem massa constante, para se aferir a MS da parte aérea (MS).

Para a segunda etapa do experimento a área onde estavam as coberturas fitorremediadoras foi dessecada com glyphosate+saflufenacil (1440+70 g ha⁻¹) + óleo mineral (0,5% v/v) aos 82 DAE das coberturas e 15 dias antes da semeadura do sorgo, cultura bioindicadora de possível resíduo de herbicida no solo. O sorgo foi semeado com semeadora/adubadora, distribuindo-se no sulco de semeadura à quantidade de 375 kg ha⁻¹ de fertilizante da fórmula 04-24-12 de N-P-K, definida com base nos resultados da análise química do solo e nas indicações técnicas à cultura (CQFS-RS/SC, 2016). Foram semeadas 6 linhas de sorgo, cultivar ACA 717 BMR, espaçadas a 0,50 m, na densidade de 17,5 sementes m⁻¹.

Aos 7, 14, 21 e 28 DAE realizou-se avaliações de fitotoxicidade dos herbicidas sobre o sorgo. A fitotoxicidade foi avaliada de forma visual por dois avaliadores, atribuindo-se notas de zero (ausência de injúria) a 100% (morte das plantas) de acordo com a metodologia proposta pela SBCPD (1995). Aos 40 DAE do sorgo foram aferidas as variáveis fisiológicas da cultura: concentração interna de CO₂ (C_i - μmol mol⁻¹), taxa de transpiração (E - mol H₂O m⁻² s⁻¹), condutância estomática de vapores de água (G_s - mol m⁻² s⁻¹), taxa fotossintética (A - μmol m⁻² s⁻¹) e a eficiência do uso da água (EUA - mol CO₂ mol H₂O⁻¹). A EUA foi calculada a partir da razão das variáveis A/E. Essas variáveis foram determinadas no terço médio das plantas, na primeira folha completamente expandida. Para isso, utilizou-se um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK). Cada cultura foi avaliada sob iluminação natural, entre sete e dez horas da manhã, em condições de céu limpo, de forma que se mantivessem as condições ambientais homogêneas durante as análises.

A colheita e determinação da MS do sorgo foi realizada aos 125 DAE, e seguindo-se a mesma metodologia em que se aferiu a MS das coberturas fitorremediadoras.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias e após a comprovação da normalidade dos erros realizou-se análise de variância pelo teste F, e sendo significativos aplicou-se o teste de Scott-Knott. Todos os testes foram efetuados a $p \leq 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreu interação significativa entre os fatores testados (herbicidas x espécies com potencial fitorremediador) e também para a cultura do sorgo usada como bioindicadora, para todas as variáveis testadas no presente estudo.

Os resultados demonstram que o diuron ocasionou maiores fitotoxicidades à brachiaria e a mucuna nas avaliações efetuadas dos 7 aos 21 DAE – dias após a emergência (Tabelas 1, 2 e 3). No entanto apesar do herbicida ter ocasionado fitotoxicidade maiores a essas duas espécies, as percentagens de injúrias podem ser consideradas baixas, inferiores a 10%. Nas demais coberturas (milheto, feijão de porco, aveia de verão e crotalária) observou-se os menores índices de fitotoxicidade do diuron em todas as avaliações que foram efetuadas, exceto aos 7 DAE, onde o milheto teve injúrias elevadas, igualando-se aos efeitos denotados na brachiaria e mucuna.

A partir dos 21 até os 42 DAE não foi observado qualquer sintoma de fitotoxicidade ocasionado pelo diuron ao milheto, aveia de verão e a crotalária. Outros estudos também encontraram que o trigo, a mucuna, nabo, crotalária e tremoço (Pascal-Lober et al. 2010; Teófilo et al., 2020) foram tolerantes ao diuron ao demonstrarem baixas injúrias quando tratados com o herbicida. Nas plantas ocorre a transformação de moléculas tóxicas em compostos menos prejudiciais que são armazenados em compartimentos celulares onde não comprometem a viabilidade celular, chamado de metabolismo diferencial. As espécies vegetais que possuem esses mecanismos podem alterar ou degradar a molécula do herbicida por meio de reações bioquímicas, produzindo produtos não tóxicos (Carvalho et al. 2009).

Observou-se que o diuron ocasionou fitotoxicidade para a mistura de espécies (aveia de verão, brachiaria, crotalária e milheto) igual a que ocorreu com o milheto, brachiaria e mucuna, ou muito próximo a essas, até os 14 DAE, porém com índices considerados baixos, menos que 9%. A partir dos 21 DAE esse mesmo herbicida não ocasionou sintomas de fitotoxicidade sobre as misturas de espécies usadas como fitorremediadoras de solo (Tabelas 1, 2 e 3). Observou-se que as espécies utilizadas de forma isolada ou quando elas foram misturadas não apresentaram sintomas de fitotoxicidade ao diuron, a partir dos 21 DAE.

A aplicação de sulfentrazone ocasionou as maiores fitotoxicidades para as coberturas de milheto, aveia de verão e a mistura de espécies, com índices que variaram de 10 a 40%, dos 7 aos 42 DAE, ao se comparar com os demais adubos verdes (Tabelas 1, 2 e 3). Esse aumento na fitotoxicidade está relacionado a longa persistência desse herbicida no solo, que pode chegar a mais de 700 dias. Conforme Blanco et al. (2005) o sulfentrazone, prejudicou o desenvolvimento do milheto e da aveia branca, o que se assemelha em parte aos resultados

encontrados no presente estudo. A mucuna, o feijão de porco e a crotalária foram os adubos verdes que apresentaram menor sintoma de fitotoxicidade em todas as avaliações efetuadas, ao se aplicar o sulfentrazone, inclusive a crotalária não apresentou injúrias do herbicida a partir dos 28 DAE (Tabelas 1, 2 e 3). A brachiaria ficou em patamar intermediário, entre as coberturas que demonstram as maiores e as menores fitotoxicidades. A mucuna e feijão de porco podem liberar maior quantidade de CO₂ por conta da fitoestimulação realizada na microbiota do solo, proporcionado pelos exsudatos radiculares que favorece a multiplicação e proliferação de microrganismos que degradam os herbicidas (Mielke et al., 2020; Seitz et al., 2022). Esse fato já foi observado no estudo de Santos et al. (2024), onde o feijão de porco foi a principal espécie promotora de fitorremediação, pois favoreceu o aumento da atividade microbiana que resultou em uma boa descontaminação do solo.

A mistura formulada composta de diuron+sulfentrazone ocasionou sobre as espécies milheto, brachiaria, aveia de verão e as misturas de coberturas as maiores fitotoxicidades dos 7 aos 42 DAE, ao se comparar com os demais adubos verdes (Tabelas 1, 2 e 3). Essas espécies, em sua maioria gramíneas, não conseguiram metabolizar a mistura desses herbicidas, resultando em um maior fitotoxicidade quando comparado com as demais espécies. A aplicação de vários herbicidas (linuron, pyrazon e lenacil) também inibidores de Fotossistema II, como o diuron afetaram o crescimento e o metabolismo do centeio (Magnucka et al., 2014), que é uma gramínea pertencente a mesma família do milheto, brachiaria e aveia de verão utilizadas no presente estudo, tendo os dois trabalhos resultados similares. Alves et al. (2018a) observaram que o sulfentrazone (600 g ha⁻¹) ocasionou fitotoxicidade de 80% em aveia preta e a morte do trevo branco quando tratados com esse herbicida.

As espécies mucuna, feijão de porco e crotalária demonstram as menores fitotoxicidades ao se aplicar o diuron+sulfentrazone em comparação as demais coberturas, sendo que a partir dos 35 DAE não foi observado sintomas de injúrias dos herbicidas sobre as mesmas, ou seja, as plantas recuperaram-se dos danos provocados pelos produtos com o passar do tempo, demonstrando que conseguem metabolizar os herbicidas e livrarem-se dos efeitos fitotóxicos que esses podem causar (Tabelas 1, 2 e 3). Fato esse também verificado por Belo et al. (2016) e Ferraço et al. (2017) ao denotarem potencial fitorremediador de sulfentrazone usando as espécies vegetais milheto e crotalária.

A aplicação de sulfentrazone no milheto e na brachiaria demonstrou fitotoxicidade maior do que o uso do diuron e menor do que a mistura de diuron+sulfentrazone nas avaliações realizadas dos 7 aos 42 DAE (Tabelas 1, 2 e 3). O milheto é uma cultura que apresenta alta sensibilidade ao sulfentrazone, por isso, ocorreu uma das maiores fitotoxicidades. Esse fato foi

denotado também por Dan et al. (2011) ao observarem elevadas injúrias causadas pela aplicação de sulfentrazone em milho, em razão da sensibilidade que a cultura apresenta ao herbicida.

Em geral a aplicação de diuron + sulfentrazone em todas as coberturas, ocasionou as maiores fitotoxicidade ou se igualou em algumas situações ao herbicida que demonstrou as maiores injúrias, ao se comparar esse tratamento com os demais (diuron e sulfentrazone) e com a testemunha sem produto, dos 7 aos 42 DAE (Tabelas 1, 2 e 3). O fato de haver diferenciação entre os herbicidas (diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone) quando aplicados sobre as coberturas avaliadas no presente estudo deve-se as distintas tolerâncias que essas apresentam aos produtos, ou seja, conseguem metabolizar e livrarem-se dos efeitos fitotóxicos com maior ou menor eficiência. A associação dos herbicidas diuron + sulfentrazone resulta em um possível sinergismo, com aumento de controle, período residual, podendo incrementar as fitotoxicidade nas coberturas, o que contribui em muitas situações de forma positiva no manejo de plantas daninhas tolerantes ou resistentes a outros produtos, especialmente ao glyphosate aplicados em lavouras de soja. Sousa et al. (2020) relataram que a mistura desses dois herbicidas se justifica pelo fato do diuron atuar mais sobre gramíneas e o sulfentrazone em plantas dicotiledôneas e algumas espécies monocotiledôneas, coincidindo com as elevadas fitotoxicidades observadas na maioria das culturas de cobertura utilizadas no presente trabalho.

Dentre as coberturas testadas no presente estudo destaca-se a crotalária como a que menor efeito fitotóxico sofreu em virtude da aplicação de diuron, sulfentrazone e diuron+sulfentrazone, dos 7 aos 42 DAE (Tabelas 1, 2 e 3). Esses herbicidas não são indicados para o controle de crotalária (Agrofit, 2025), e por isso, podem ter causado baixa fitotoxicidade a espécie pela capacidade que essa tem de metabolizar os produtos.

Teófilo et al. (2020) observaram que a maior absorção do herbicida hexazinona (inibidor de FSII, mesmo grupo do diuron) pelo feijão de porco está ligado ao crescimento inicial mais rápido em comparação a outras espécies. Quanto maior a produção de massa seca maior a necessidade da planta absorver água e moléculas orgânicas do solo para sustentar seu crescimento (Abdulrahman et al. 2017). Dessa forma, ao extrair mais recursos do solo para o seu crescimento, o feijão de porco também absorveu uma quantidade maior de hexazinona do solo. Fato esse que pode ser semelhante ao ocorrido com a crotalária ao ter apresentado baixa fitotoxicidade ao se aplicar o herbicida diuron. Madalão et al. (2019) ao testarem o potencial de fitorremediação das espécies de crotalária (*Crotalaria juncea*, *C. cajan* e *C. ensiformis*) observaram que a *C. juncea* foi dentre as três a que apresentou a maior capacidade de fitorremediar solos contaminados com o sulfentrazone, até a dose de 400 g ha⁻¹. Esse fato corrobora em partes com os resultados encontrados no presente estudo.

Não foi efetuada a comparação da AF e da MS da parte aérea entre as coberturas para cada herbicida em virtude de que as espécies por si só já são geneticamente diferentes (Tabela 4). Desse modo avaliou-se somente o efeito dos tratamentos herbicidas de modo individual para a AF e a MS das coberturas vegetais a fim de evitar interpretações equivocadas acerca do efeito dos tratamentos.

A espécie fitorremediadora que apresentou a maior AF foi a crotalária e a mistura de espécies quando o tratamento era testemunha, ou seja, sem aplicação de nenhum herbicida (Tabela 4). O diuron, quando aplicado em isolado apresentou maior AF ao se comparar ao sulfentrazone e ao diuron + sulfentrazone para a mistura de espécies. Para a crotalária o uso de diuron e diuron + sulfentrazone refletiu em maior AF ao se comparar com o uso isolado de sulfentrazone. A mucuna e o feijão de porco apresentaram maior AF quando aplicado somente o sulfentrazone. A aplicação de diuron + sulfentrazone resultou na maior AF para milho, brachiaria, feijão de porco e aveia de verão, e ao se comparar com os demais herbicidas (diuron e sulfentrazone aplicados em isolado). O ocorrido com a crotalária e com o feijão de porco em relação a AF reflete os resultados obtidos de fitotoxicidade (Tabelas 1, 2 e 3) demonstrando que essas espécies apresentam maior tolerância ao se aplicar os herbicidas. Belo et al. (2016) observou que a utilização de feijão de porco e crotalária no cultivo prévio promove a fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone e que feijão de porco é mais eficiente para descontaminação de sulfentrazone em condições de campo. Teófilo et al. (2020) avaliaram seis espécies comuns em rotação e adubação verde, dentre elas a mucuna, o milho e o feijão de porco com a aplicação de diuron, embora ele tenha permanecido no solo, nenhuma das espécies demonstraram clorose ou redução no desenvolvimento, indicando que a AF seria afetada.

O maior acúmulo de MS da parte aérea ocorreu para a mistura de espécies e crotalária na testemunha sem herbicidas, para brachiaria, feijão de porco e aveia de verão destacou-se o uso de diuron, à mucuna, feijão de porco, aveia de verão e crotalária o sulfentrazone foi melhor dentre os herbicidas (Tabela 4). E ao se aplicar diuron + sulfentrazone os adubos verdes que se sobressaíram foram milho, brachiaria, feijão de porco e crotalária, ao se comparar os produtos entre si para cada uma das espécies com potencial fitorremediador (Tabela 4). As espécies que tiveram o maior acúmulo de MS, em grande maioria, foram as leguminosas, pela tendência de ter uma maior AF, devido à sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, essa característica permite que tenham um crescimento mais vigoroso e produzam mais folhas, resultando em maior AF. Gonçalves et al. (2018) relatam que a presença de algum herbicida residual no solo afeta diretamente o crescimento das plantas refletindo diretamente na produção de MS e na

produtividade das culturas semeadas nesse ambiente.

Destaca-se que a testemunha sem herbicidas somente demonstrou maior acúmulo de MS que os herbicidas (diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone) para a mistura de espécies e a crotalária (Tabela 4). Dentre as espécies, o feijão de porco foi a única que apresentou maior acúmulo de MS ao se aplicar os três herbicidas em comparação com a testemunha sem uso de produtos, já que essa demonstrou menor acúmulo da variável em estudo. A produção de MS foi maior nos tratamentos envolvendo herbicidas, comparado com a testemunha sem aplicação ocorre pelo fato do produto controlar as plantas daninhas que estariam competindo pelos fatores abióticos (água, luz e nutrientes) com a cobertura, pois em muitas situações torna-se difícil distinguir espécies similares que estão convivendo em conjunto na área do experimento. Assim quando há presença do herbicida as plantas podem se desenvolver livremente ou com baixa competição, gerando melhores resultados ao se comparar com a testemunha sem aplicação de herbicidas, fato esse também observado por Mancuso et al., (2016).

Os resultados demonstram que ocorreu maior fitotoxicidade ao sorgo (planta bioindicadora) usando-se a aveia de verão como espécie fitorremediadora ao se aplicar diuron, dos 7 aos 28 DAE, em comparação com os demais adubos verdes, inclusive superior ao tratamento sem cobertura (Tabela 5 e 6). As demais coberturas proporcionaram menores fitotoxicidade ao sorgo ao se aplicar o diuron, em todas as épocas em que se avaliou o potencial fitorremediador das espécies ao se aplicar os herbicidas. A aveia de verão não teve uma boa efetividade na absorção e descontaminação do diuron, deixando possivelmente parte do herbicida no solo, o qual afetou a cultura subsequente de interesse, nesse caso o sorgo como pode-se observar pelos resultados negativos das trocas gasosas (Tabela 7 e 8) e no menor acúmulo de MS (Tabela 9), ao se avaliar esses tratamentos. Essa fitotoxicidade ocasionada em gramíneas pelos herbicidas inibidores de FSII foi observada também em estudo de Magnucka et al. (2014) ao aplicarem linuron, pyrazon e lenacil ao afetaram o crescimento e a fisiologia do centeio.

Observou-se maior fitotoxicidade ao sorgo ao se usar como planta fitorremediadora a mucuna e sobre essa a aplicação do herbicida sulfentrazone dos 7 aos 28 DAE (Tabelas 5 e 6). Ressalta-se ainda que aos 7 DAE os sintomas de fitotoxicidade foram elevados, superiores a 28%, ao se aplicar o sulfentrazone, especialmente para as espécies mucuna, feijão de porco, aveia de verão e crotalária. Quando analisadas as porcentagens de fitotoxicidade dessas espécies, após a aplicação do sulfentrazone, nota-se que os índices foram baixos o que leva a se concluir que a absorção pelas espécies foi baixa, fazendo com que o herbicida permanecesse

no solo, resultando em uma maior fitotoxicidade a cultura sucessora, no caso, o sorgo. No entanto com o passar do tempo a fitotoxicidade ao sorgo foi diminuindo, chegando aos 28 DAE com índice menor que 17% ao se usar o sulfentrazone. Madalão et al. (2019) denotaram que o sulfentrazone permaneceu no solo por 143 dias após a aplicação, não afetando o acúmulo de MS da parte aérea do sorgo, somente ocasionou leve fitotoxicidade de 5 a 7%. Os mesmos autores relatam ainda que aos 173 DAE não observaram a ocorrência de fitotoxicidade ao sorgo, assemelhando-se em partes ao constatado no presente estudo.

Os resultados demonstram dos 7 aos 28 DAE que o uso dos adubos verdes mucuna, feijão de porco e crotalaria como espécies fitorremediadoras e sobre essas a aplicação de diuron+sulfentrazone ocorreu as maiores fitotoxicidades ao sorgo (Tabelas 5 e 6). Silva et al. (2024) ao trabalharem com diuron+sulfentrazone na pré-emergência da soja, e após a colheita o cultivo do sorgo na mesma área, identificaram que o uso da mistura de diuron+sulfentrazone diminuiu a produtividade dessa cultura ao compararem com a testemunha. Fato similar foi observado por Whalen et al. (2019), ao avaliarem o residual de vários herbicidas pré-emergentes aplicados em soja, dentre eles o fomesafen e o sulfentrazone, ambos inibidores de PROTOX. Os autores constataram que as plantas de azevém semeadas no outono, após a soja, foram sensíveis aos herbicidas, sofrendo injúrias e não apresentando um bom desenvolvimento vegetativo. Resultados esses que se assemelham aos encontrados na presente pesquisa, pois as coberturas semeadas anteriormente pertencem à mesma família da soja (leguminosas). Esse fato demonstra que o período residual apresentado pelos herbicidas afeta diretamente o desenvolvimento das espécies gramíneas como o azevém e o sorgo, cultivadas em sucessão as leguminosas.

Em relação ao tratamento sem cultivo observou-se que o sorgo apresentou menor fitotoxicidade ao se aplicar todos os herbicidas, dos 7 aos 28 DAE, com exceção aos 21 e 28 DAE em que o uso de diuron+sulfentrazone ficou entre os maiores patamares de injúrias a espécie bioindicadora (Tabelas 5 e 6). Lixiviação e chuvas escorrimento superficial ver

No tratamento sem cultivo pode ter ocorrido maior degradação microbiana dos herbicidas pelo fato do solo não apresentar palhada em cobertura e desse modo os microrganismos terem uma maior atuação diretamente sobre os produtos que foram aplicados. Song et al. (2024) relatam que os microrganismos apresentam eficiência elevada na despoluição de solos contaminados com herbicidas, assemelhando-se assim ao observado no presente estudo. No entanto, na atualidade a recomendação é que os produtores tenham o solo sempre coberto, para manter ou melhor a qualidade física, química e biológica e principalmente para que a palhada de cobertura ou os adubos verdes auxiliem no manejo de muitas espécies de

plantas daninhas, especialmente as resistentes ou tolerantes ao glyphosate (Silva et al., 2021; Barroso et al., 2023; Iager et al., 2025).

Destaca-se ainda que o solo onde foi instalado o presente estudo apresenta teor de matéria orgânica de 3,2%, considerado adequado para que aconteça bioatividade dos microrganismos no local (Dan et al., 2011; Melo et al., 2017). Além disso o solo onde se conduziu a presente pesquisa é classificado como argiloso, com teor acima de >65%, o que também possibilita a sorção e a degradação dos herbicidas, como relatado em trabalhos de Lourencetti et al., (2012) e Ferraço et al., (2019).

O diuron demonstrou fitotoxicidade ao sorgo igual a testemunha sem aplicação de herbicidas no tratamento sem cultivo. Esses herbicidas tendem a ter um maior período residual no solo, e como não havia nenhuma espécie cultivada nesse tratamento, para contribuir na degradação dos mesmos, a quantidade de produto que permaneceu no solo foi maior do que nos tratamentos com espécies vegetais. Ao se comparar os herbicidas entre si, os resultados demonstram que a aplicação de sulfentrazone apresentou as maiores fitotoxicidades ao sorgo, independentemente da espécie usada como fitorremediadora, dos 7 aos 28 DAE (Tabelas 5 e 6). Dan et al. (2010) ao avaliarem a atividade residual de herbicidas utilizados em soja e na sucessão semeou-se o sorgo, observaram que o sulfentrazone reduziu em 17% a altura de plantas e 52,3% da MS da parte aérea do sorgo, mesmo sendo esse semeado 115 dias após a aplicação do produto.

Não houve diferenciação à fitotoxicidade para o sorgo, a partir dos 7 DAE, ao se aplicar diuron, sulfentrazone e diuron+sulfentrazone usando-se como espécie fitorremediadora a aveia de verão, sendo esses tratamentos somente superiores a testemunha sem produto (Tabelas 5 e 6). Provavelmente isso ocorre em razão de a aveia de verão ter demonstrado a maior sensibilidade aos herbicidas sulfentrazone e diuron+sulfentrazone, com índices de fitotoxicidade que chegaram a 40% aos 14 DAE, essa espécie absorveu elevada quantidade do herbicida aplicado e desse modo reduziu o residual (persistência) do produto no solo, não impactando a cultura semeada posteriormente, no caso ocorrendo baixa fitotoxicidade ao sorgo. Em estudo realizado por Alves et al. (2019) os autores demonstram que a aveia preta mesma família da aveia de verão, tolerou e apresentou capacidade de fitorremediar solos contaminados com sulfentrazone.

Ao se comparar os herbicidas entre si, dos 7 aos 28 DAE os resultados demonstram que o diuron ocasionou a menor fitotoxicidade ao sorgo para todos os tratamentos com potencial fitorremediador de solo, exceto para a aveia de verão em que não se observou diferenças entre os produtos a partir dos 7 DAE (Tabelas 5 e 6). Esse resultado está associado com os baixos

índices de fitotoxicidade que o diuron causou nas coberturas utilizadas anteriormente a semeadura do sorgo, confirmando a capacidade que as espécies possuem de tolerar esse herbicida. Teófilo et al. (2020) demonstraram que os adubos verdes, feijão de porco, crotalária, mucuna preta e milheto toleraram a presença do herbicida diuron no solo.

No geral os resultados demonstram em relação as variáveis fisiológicas do sorgo que o tratamento sem cobertura demonstrou os melhores desempenhos fisiológicos ao se comparar com os adubos verdes, levando-se em conta a testemunha sem herbicida, diuron, sulfentrazone e a mistura de ambos (Tabelas 7, 8 e 9). Ao se comparar os herbicidas entre si dentro de cada espécie com potencial fitorremediador não se observou diferenças entre os tratamentos (testemunha sem herbicidas, diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone) para as variáveis Gs e EUA (Tabelas 8 e 9). Os herbicidas utilizados atuam no aparato fotossintético das plantas, o diuron atuando na proteína D1 (inibidor do Fotossistema II) e o sulfentrazone agindo de forma direta na síntese de clorofila das plantas. Esses produtos interferem diretamente na transpiração, podendo reduzir a condutância estomática das plantas pelo fechamento dos estômatos e assim a entrada de água bem como o uso da luz e a produção de energia ficam comprometidas (Torres et al., 2012). O uso da mucuna como adubo verde apresentou, em geral, os piores resultados para as variáveis relacionadas a fisiologia do sorgo (Ci, E, Gs, A e EUA) para todos os herbicidas testados (Tabelas 7, 8 e 9). A testemunha sem herbicidas, o sulfentrazone e o diuron + sulfentrazone não apresentaram diferenças para as variáveis fisiológicas do sorgo (Ci, E, Gs, A e EUA) quando se usou como coberturas o milheto, a brachiaria e a misturas de espécies (Tabelas 7, 8 e 9). Os demais tratamentos para essas mesmas variáveis fisiológicas do sorgo demonstraram comportamento variável, especialmente para o diuron.

O maior acúmulo de MS do sorgo ocorreu para o solo sem cultivo na testemunha sem herbicidas, para brachiaria e milheto destacou-se o uso de diuron, para o feijão de porco e a misturas de espécies com uso de sulfentrazone e ao se aplicar diuron + sulfentrazone os adubos verdes que se sobressaíram foram a aveia de verão e crotalária ao se comparar as espécies com potencial fitorremediador entre si em cada tratamento herbicida (Tabela 4). A aplicação de herbicidas inibidores de Fotossistema II, como o diuron afetaram o desenvolvimento do centeio (Magnucka et al., 2014), gramínea que pertence a mesma família do milheto, brachiaria e aveia de verão. O uso de sulfentrazone ocasionou fitotoxicidade de 80% em aveia preta (Alves et al., 2018a). Esses altos índices de fitotoxicidade das espécies vegetais está ligado a elevada absorção dos herbicidas presentes no solo, ou seja, as plantas removeram grande parte desses produtos do solo, reduzindo assim o impacto no desenvolvimento do sorgo e conseqüentemente

umentando o acúmulo de MS do mesmo. Já o feijão de porco foi uma espécie que aumentou a atividade microbiana do solo, o que ocasionou descontaminação do solo (Santos et al., 2024).

O maior acúmulo de MS do sorgo ocorreu ao se aplicar os três herbicidas em comparação com a testemunha sem uso de produtos quando usou-se como espécies fitorremediadoras a mucuna, aveia de verão e a mistura de adubos verdes. Teófilo et al. (2020) observaram que a presença de diuron no solo elevou em 28,37 e 64,63% a produção de MS da mucuna e do milho respectivamente, quando comparado a testemunha. A dose do diuron provavelmente foi baixa o suficiente para estimular o metabolismo dessas duas espécies, causando um crescimento mais rápido e acelerado. Os herbicidas inibidores do FSII em baixas concentrações estimularam o crescimento de microalgas verdes, pois a formação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) na célula poderia reagir com outros compostos mais facilmente do que o oxigênio molecular, estimulando o crescimento através de diferentes vias metabólicas (Spoljaric et al., 2011). Esses resultados demonstram que a mucuna reduziu a quantidade de herbicida presente no solo, resultando no maior acúmulo de MS do sorgo.

O herbicida diuron e a mistura de diuron + sulfentrazone demonstram a maior produção de MS do sorgo, ao se comparar com a testemunha sem herbicidas e ao sulfentrazone quando se cultivou anteriormente a cultura fitorremediadora milho (Tabela 9). Já a aplicação de diuron e de sulfentrazone sobressaíram-se em relação a testemunha sem herbicidas e a mistura de diuron + sulfentrazone, com maior acúmulo de MS do sorgo, quando se usou a brachiaria como adubo verde. A utilização de gramíneas para fitorremediar solos contaminados com herbicidas vem crescendo e tendo bons resultados ao longo dos anos. O centeio tolera e despolui solo com presença de herbicidas inibidores de PROTOX (Cornelius et al., 2017), a aveia preta e fitorremediadora de sulfentrazone (Alves et al., 2019), o azevém sofre efeito negativo se aplicado sobre ele herbicidas inibidores de PROTOX, mas consegue deixar menos resíduos à cultura subsequente (Whalen et al., 2019) e a brachiaria, sorgo e milho despoluem solo contaminado com picloran quando aplicado nas doses recomendadas (Serafim et al., 2024).

4. CONCLUSÃO

O diuron causa menor fitotoxicidade a todas as espécies cultivadas com potencial fitorremediador.

A crotalária, o feijão de porco e a mucuna demonstram menor fitotoxicidade na presença de diuron, sulfentrazone e diuron+sulfentrazone podendo ser usadas como espécies fitorremediadoras.

A aplicação de diuron + sulfentrazone resultou na maior AF ao milheto, brachiaria, feijão de porco e aveia de verão, e ao se comparar com os demais herbicidas (diuron e sulfentrazone aplicados em isolado).

O tratamento sem cobertura demonstrou os melhores desempenhos fisiológicos do sorgo ao se comparar com os adubos verdes, levando-se em conta a testemunha sem herbicida, diuron, sulfentrazone e a mistura de ambos.

Os maiores acúmulos de MS do sorgo ocorreram com o uso de milheto para despoluir diuron e diuron+sulfentrazone, brachiaria para diuron e sulfentrazone, mucuna, feijão de porco e a mistura de espécies para sulfentrazone, aveia de verão e crotalária para diuron+sulfentrazone e o tratamento sem cobertura para a testemunha sem herbicidas.

REFERÊNCIAS

- ABDULRAHMAN, A. A. et al. Leaf size and transpiration rates in *Agave americana* and *Aloe vera*. **Phytologia Balcanica**, v.23, n.1, p.95-100, 2017.
- AGROFIT/MAPA. **Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários** - Consulta Aberta, 2025. Disponível em: www.agrofit.agricultura.gov.br/agrofit.
- ALBRECHT, L. P. et al. Growth and agronomic performance of soybean applied with pre-emergence herbicides. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v.76, n.3, p.10485-10492, 2023.
- ALVES, C. et al. Selection of species with soil phytoremediation potential after the application of protox-inhibiting herbicides. **Planta Daninha**, v.36, e.018174765, 2018a.
- ALVES, C. et al. Winter species promote phytoremediation of soil contaminated with protox-inhibiting herbicides. **Planta Daninha**, v.37, e.019184783, 2019.
- BARROSO, G. M. et al. Phytoremediation: A green and low-cost technology to remediate herbicides in the environment. **Chemosphere**, v.334, p.138943, 2023.
- BELO, A. F. et al. Sulfentrazone phytoremediation under field conditions. **Revista Caatinga**, v.29, n.1, p.119-126, 2016.
- BLANCO, F. M. et al. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, v.23, n.4, p.693-700, 2005.
- CAMACHO, M. E. et al. Evaluation of imazapic and flumioxazin carryover risk for Carinata (*Brassica carinata*) establishment. **Weed Science**, v.70, n.4, p.503-513, 2022.
- CORNELIUS, C. D. et al. Carryover of common corn and soybean herbicides to various cover crop species. **Weed Technology**, v.31, n.1, p.21-31, 2017.
- CQFS-RS/SC. 2016. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11 ed. Porto Alegre. 376p.
- DAMIN, V. et al. Residual activity of sulfentrazone and its impacts on microbial activity and biomass of Brazilian Savanna soils. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.51, e.68340, 2021.
- DAN, H. A. et al. Atividade residual de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o sorgo granífero cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v.28, p.1087-1095, 2010.
- DAN, H. A. et al. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v.29, n.2, p.437-445, 2011.
- DELARMELINDA, E. A. et al. Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta Amazonica**, v.40, n.3, p.625-627, 2010.

FERRAÇO, M. et al. Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.1, p.32-40, 2017.

FERRAÇO, M. et al. Phytoremediation of contaminated soil with sulfentrazone by different density of *Crotalaria juncea*. **Planta Daninha** v.37, e.019185323, 2019.

GALON, L. et al. Seletividade e eficácia de herbicidas aplicados em soja para o controle de plantas daninhas. **Agrarian**, v.15, n.55, p.e15715-e15715, 2022.

GONÇALVES, F. A. R. et al. Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.61, e.2570, p.1-6, 2018.

IAGER, T. et al. Sensitivity, multiple tolerance, and herbicide residue degradation capacity during the off-season with green manures. **International Journal of Phytoremediation**, 2025. No Prelo.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Histórico de dados meteorológicos**, 2025. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>

LI, J. et al. Emerging strategies for the bioremediation of the phenylurea herbicide diuron. **Frontiers in Microbiology**, v.12, e.686509, 2021.

LOURENCETTI, C. et al. Influence of sugar cane vinasse on the sorption and degradation of herbicides in soil under controlled conditions. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v.47, n.10, p.949-958, 2012.

LU, H. et al. A novel *psbA* mutation (Phe274–Val) confers resistance to PSII herbicides in wild radish (*Raphanus raphanistrum*). **Pest Management Science**, v.75, n.1, p.144-151, 2018.

MADALÃO, J. C. et al. Leaching and persistence of sulfentrazone when mixed with adjuvants. **Planta Daninha**, v.37, e.019192133, 2019.

MAGNUCKA, E. G. et al. Various effects of the photosystem II–inhibiting herbicides on 5-n-alkylresorcinol accumulation in rye seedlings. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.116, n.1, p.56-62, 2014.

MANCUSO, M. A. C. et al. Seletividade e eficiência de herbicidas no controle de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi. **Revista Ceres**, v.63, n.1, p.25-32, 2016.

MELO, C. A. D. et al. Microbial activity of soil with sulfentrazone associated with phytoremediator species and inoculation with a bacterial consortium. **Bragantia**, v.76, n.2, p.300-310, 2017.

MIELKE, K. C. et al. Does *Canavalia ensiformis* inoculation with *Bradyrhizobium* sp. enhance phytoremediation of sulfentrazone-contaminated soil? **Chemosphere**, v.255, e.127033, 2020.

- OUBOHSSAINE, Malika; DAHMANI, Ikram. Phytoremediation: Harnessing plant power and innovative technologies for effective soil remediation. **Plant Stress**, v.14, e.100578, 2024.
- PASCAL-LORBER, S. et al. Metabolic fate of [14C] diuron and [14C] linuron in wheat (*Triticum aestivum*) and radish (*Raphanus sativus*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, n.20, p.10935-10944, 2010.
- PEEL, M. C. et al. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.11, n.5, p.1633-1644, 2007.
- ROCHA, P. R. R. et al. Meia-Vida do diuron em solos com diferentes atributos físicos e químicos. **Ciência Rural**, v.43, n.11, p.1961-1966, 2013.
- RODRIGUES, B. N. et al. **Guia de Herbicidas**. 7. ed. Londrina: Iapar, 2018. 764 p.
- SALOMÃO, P. E. A. et al. Herbicidas no Brasil: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v.9, n.2, e.32921990, 2020.
- SANTOS, E. et al. Rhizosphere-associated microbiota of *Canavalia ensiformis* in sulfentrazone bioremediation. **International Journal of Phytoremediation**, v.26, n.13, p.2175-2182, 2024.
- SBCPD - Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina-PR: SBCPD; 1995.
- SEITZ, V. A. et al. Variation in root exudate composition influences soil microbiome membership and function. **Applied and Environmental Microbiology**, v.88, n.11, e.00226-22, 2022.
- SERAFIM, A. C. et al. Phytoremediation of Brazilian Cerrado soil to reduce herbicide persistence using tropical grasses. **Australian Journal of Crop Science**, v.18, n.5, p.288-298, 2024.
- SILVA, P. V. et al. Efficacy of weed control and selectivity in soybean in the application of preemergent herbicides and their carryover in sorghum and maize. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v.59, n.12, p.792-802, 2024.
- SILVA, C. T. et al. Remedial capacity of diclosulam by cover plants in different edaphoclimatic conditions. **International Journal of Phytoremediation**, v.23, n.6, p.609-618, 2021.
- SPOLJARIC, D. et al. Endogenous 4-hydroxy-2-nonenal in microalga *Chlorella kessleri* acts as a bioactive indicator of pollution with common herbicides and growth regulating factor of hormesis. **Aquatic toxicology**, v.105, n.3-4, p.552-558, 2011.
- Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal – Sindiveg, 2024. Available from: <https://sindiveg.org.br/>

- SONG, H. et al. Removal of chlorimuron-ethyl from the environment: The significance of microbial degradation and its molecular mechanism. **Chemosphere**, v.366, e.143456, 2024.
- SOUSA, B. T. Controle de plantas daninhas e seletividade de sulfentrazone + diuron em cana-de-açúcar (cultivar RB 966928). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.18, n.4, p.1-8, 2020.
- STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. 3.ed. Porto Alegre: **EMATER/RS-ASCAR**, 2018. 252 p.
- TANDON, S. et al. Kinetics of diuron under aerobic condition and residue analysis in sugarcane under subtropical field conditions. **Environmental Technology**, v.40, n.1, p.86-93, 2019.
- TEÓFILO, T. M. S. et al. Phytoextraction of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl from the soil by green manure species. **Chemosphere**, v.256, e.127059, 2020.
- TORRES, L. G. et al. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v.30, n.3, p.581-587, 2012.
- WHALEN, D. M. et al. Evaluation of cover crop sensitivity to residual herbicides applied in the previous soybean [*Glycine max* (L.) Merr] crop. **Weed Technology**, v.33, n.2, p.312-320, 2019.

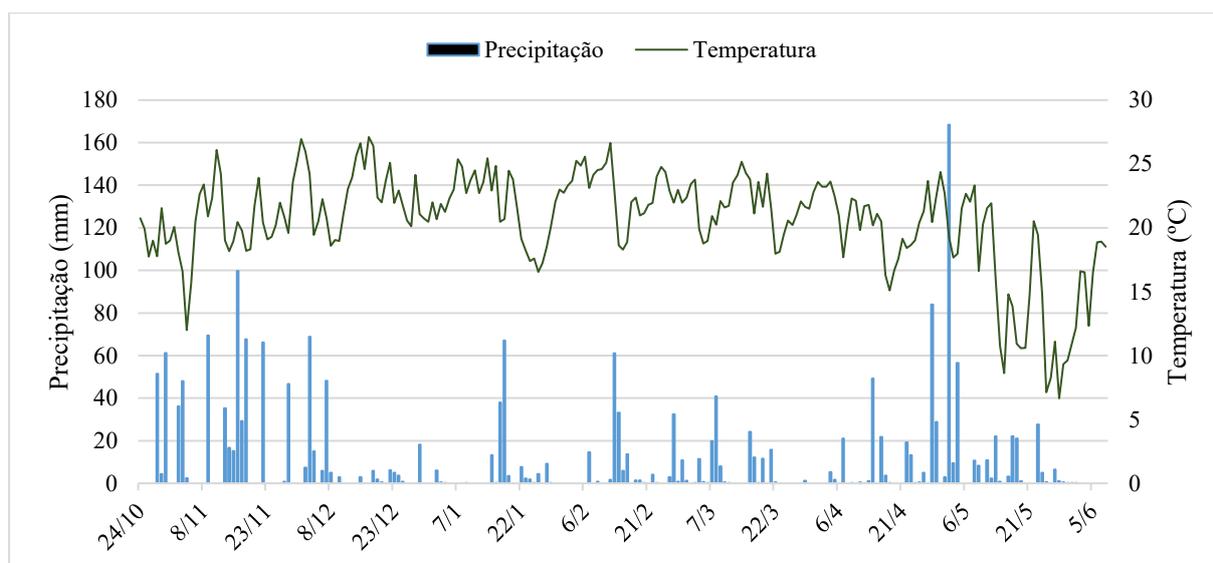


Figura 1. Temperatura média (°C) e precipitação mensal (mm) durante o período de realização do experimento, de outubro de 2022 a junho de 2023. Fonte: INMET, (2025).

Tabela 1. Fitotoxicidade (%) às coberturas com potencial fitorremediador em função da aplicação de herbicidas, aos 7 e 14 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Fitotoxicidade aos 7 DAE				Fitotoxicidade aos 14 DAE			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Milheto	0,00 D ^{ns}	10,00 Ca ¹	26,67 Bc	40,00 Aa	0,00 D	5,00 Cb	31,67 Bb	46,67 Aa
Brachiaria	0,00 D	10,00 Ca	24,44 Bc	28,33 Aa	0,00 D	8,33 Ca	20,78 Bc	25,00 Ac
Mucuna	0,00 C	10,00 Ba	14,00 Ad	14,00 Ac	0,00 C	10,00 Ba	13,00 Ad	15,00 Ad
Feijão de porco	0,00 C	7,00 Bb	10,00 Be	13,33 Ac	0,00 C	7,00 Ba	11,00 Ad	11,67 Ae
Aveia de verão	0,00 C	8,33 Ab	38,33 Aa	38,33 Aa	0,00 D	3,33 Cb	40,00 Aa	35,00 Bb
Mistura	0,00 D	8,33 Ca	35,00 Bb	38,33 Aa	0,00 D	8,33 Ca	31,67 Bb	35,00 Ab
Crotalária	0,00 C	5,00 Bb	11,00 Ae	11,75 Ac	0,00 C	5,00 Bb	10,00 Ad	7,00 Bf
Sem cobertura	---	---	---	---	---	---	---	---
CV (%)			15,29				16,00	
Média Geral			14,36				13,59	

¹Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Ns: não significativo a $p < 0,05$. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 2. Fitotoxicidade (%) às coberturas com potencial fitorremediador, em função da aplicação de herbicidas, aos 21 e 28 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Fitotoxicidade aos 21 DAE				Fitotoxicidade aos 28 DAE			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Milheto	0,00 C ^{ns}	0,00 Cb ¹	26,67 Bb	41,67 Aa	0,00 C	0,00 C	21,67 Bb	36,67 Aa
Brachiaria	0,00 D	3,33 Ca	15,33 Bc	21,00 Ac	0,00 C	0,00 C	11,89 Bc	16,67 Ad
Mucuna	0,00 C	5,00 Ba	8,25 Ad	10,00 Ad	0,00 B	0,00 B	5,00 Ad	5,00 Ae
Feijão de porco	0,00 B	2,50 Ba	6,50 Ad	6,67 Ae	0,00 A	0,00 A	2,50 Ad	1,67 Af
Aveia de verão	0,00 C	0,00 Cb	36,67 Aa	30,00 Bb	0,00 C	0,00 C	30,00 Aa	21,67 Bc
Mistura	0,00 C	1,67 Cb	26,67 Bb	30,00 Ab	0,00 C	0,00 C	21,67 Bb	25,00 Ab
Crotalária	0,00 B	0,00 Bb	5,00 Ad	2,50 Af	0,00 A	0,00 A	0,00 Ae	0,00 Af
Sem cobertura	---	---	---	---	---	---	---	---
CV (%)			21,88				25,95	
Média Geral			9,98				7,12	

¹Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Ns: não significativo a $p < 0,05$. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 3. Fitotoxicidade (%) às coberturas com potencial fitorremediador, em função da aplicação de herbicidas, aos 35 e 42 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Fitotoxicidade aos 35 DAE				Fitotoxicidade aos 42 DAE			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Milheto	0,00 C ^{ns1}	0,00 C ^{ns}	16,67 Bb	31,67 Aa	0,00 C ^{ns}	0,00 C ^{ns}	10,00 Bb	23,33 Aa
Brachiaria	0,00 C	0,00 C	4,45 Bc	11,67 Ad	0,00 C	0,00 C	4,44 Bc	11,67 Ac
Mucuna	0,00 A	0,00 A	0,00 Ad	0,00 Ae	0,00 A	0,00 A	0,00 Ad	0,00 Ad
Feijão de porco	0,00 A	0,00 A	0,00 Ad	0,00 Ae	0,00 A	0,00 A	0,00 Ad	0,00 Ad
Aveia de verão	0,00 B	0,00 B	25,00 Aa	23,33 Ab	0,00 C	0,00 C	16,67 Aa	13,33 Bc
Mistura	0,00 B	0,00 B	18,33 Ab	20,00 Ac	0,00 B	0,00 B	17,67 Aa	16,00 Ab
Crotalária	0,00 A	0,00 A	0,00 Ad	0,00 Ae	0,00 A	0,00 A	0,00 Ad	0,00 Ad
Sem cobertura	---	---	---	---	---	---	---	---
CV (%)			32,78				40,32	
Média Geral			5,40				4,04	

¹Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Ns: não significativo a $p < 0,05$. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 4. AF e MS da parte aérea das coberturas com potencial fitorremediador em função da aplicação de herbicidas. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	AF				MS (g)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Milheto	15121,52 C ¹	19002,66 B	24393,19 A	25047,50 A	144,49 B	152,38 B	148,38 B	224,20 A
Brachiaria	16449,43 B	14822,59 B	15737,66 B	17835,91 A	125,16 B	147,40 A	124,30 B	143,48 A
Mucuna	14717,70 C	12858,31 D	26740,97 A	18268,49 B	50,69 C	39,57 C	88,62 A	68,96 B
Feijão de porco	5917,96 C	8098,58 B	15241,81 A	14177,04 A	35,86 B	60,78 A	53,86 A	53,10 A
Aveia de verão	18269,96 C	21282,76 B	22065,30 B	24425,68 A	182,66 B	220,06 A	224,29 A	192,62 B
Mistura	30602,38 A	30433,07 A	23798,92 B	18195,97 C	216,27 A	195,30 B	144,91 C	199,06 B
Crotalária	41432,40 A	31131,80 C	29101,32 D	32434,88 B	153,38 A	98,10 B	159,99 A	174,04 A
Sem cobertura	---	---	---	---	---	---	---	---
CV (%)		4,31				9,71		
Média Geral		20985,92				136,51		

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 5. Fitotoxicidade (%) do sorgo em função do uso de coberturas com potencial fitorremediador e da aplicação de herbicidas, aos 7 e 14 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Fitotoxicidade aos 7 DAE				Fitotoxicidade aos 14 DAE			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Milheto	0,00 B ^{ns1}	0,00 Bc ¹	25,00 Ab	28,25 Aa	0,00 B ^{ns}	0,00 Bd	23,33 Aa	28,25 Aa
Brachiaria	0,00 B	1,00 Bc	21,75 Ab	18,25 Ab	0,00 B	0,00 Bd	19,50 Ab	3,25 Bc
Mucuna	0,00 D	13,25 Cb	35,00 Aa	25,00 Ba	0,00 D	10,00 Cb	30,00 Aa	17,75 Bb
Feijão de porco	0,00 B	5,00 Bc	31,50 Aa	26,50 Aa	0,00 C	5,00 Bc	26,75 Aa	17,75 Bb
Aveia de verão	0,00 C	23,25 Aa	28,25 Aa	16,50 Bb	0,00 B	17,50 Aa	18,25 Ab	18,25 Ab
Mistura	0,00 B	0,00 Bc	25,00 Ab	20,00 Ab	0,00 C	0,00 Cd	15,00 Ab	8,25 Bc
Crotalária	0,00 B	3,25 Bc	30,00 Aa	30,00 Aa	0,00 B	5,00 Bc	21,75 Ab	25,00 Aa
Sem cobertura	0,00 B	5,00 Bc	21,75 Ab	17,50 Ab	0,00 B	3,25 Bc	16,75 Ab	18,25 Ab
CV (%)		25,57				33,07		
Média Geral		14,20				10,96		

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Ns: não significativo a $p < 0,05$. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 6. Fitotoxicidade (%) do sorgo, em função do uso de coberturas com potencial fitorremediador e da aplicação de herbicidas, aos 21 e 28 dias após emergência (DAE). UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Fitotoxicidade aos 21 DAE				Fitotoxicidade aos 28 DAE			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Milheto	0,00 B ^{ns1}	0,00 Bb ¹	16,75 Ab	13,25 Aa	0,00 C ^{ns}	0,00 Cb	10,00 Ab	5,00 Bb
Brachiaria	0,00 B	0,00 Bb	11,00 Ab	3,25 Ab	0,00 B	0,00 Bb	5,00 Ac	1,75 Bb
Mucuna	0,00 C	3,25 Cb	23,25 Aa	12,25 Ba	0,00 C	1,75 Cb	15,00 Aa	6,75 Ba
Feijão de porco	0,00 B	2,50 Bb	11,75 Ab	12,25 Aa	0,00 B	0,00 Bb	5,00 Ac	7,50 Aa
Aveia de verão	0,00 B	12,50 Aa	13,25 Ab	15,00 Aa	0,00 B	10,00 Aa	10,00 Ab	10,00 Aa
Mistura	0,00 C	0,00 Cb	11,75 Ab	5,00 Bb	0,00 B	0,00 Bb	8,25 Ab	2,75 Bb
Crotalária	0,00 D	5,00 Cb	21,75 Aa	15,00 Ba	0,00 C	1,75 Cb	16,75 Aa	10,00 Ba
Sem cobertura	0,00 B	3,25 Bb	13,25 Ab	10,00 Aa	0,00 B	3,25 Bb	8,25 Ab	8,25 Aa
CV (%)		43,08				52,29		
Média Geral		7,41				4,65		

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Ns: não significativo a $p < 0,05$. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 7. Concentração interna de CO₂ (Ci) e taxa transpiratória (E) do sorgo em função do uso de coberturas com potencial fitorremediador e da aplicação de herbicidas. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)				E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Milheto	195,75 Ac ¹	209,00 Aa	192,00 Aa	200,50 Ab	2,87 Aa	2,69 Ab	3,19 Aa	3,19 Aa
Brachiaria	155,00 Ad	161,25 Ab	169,75 Ab	165,00 Ad	3,28 Aa	4,02 Aa	3,21 Aa	3,71 Aa
Mucuna	171,75 Cc	200,00 Aa	207,75 Aa	280,75 Aa	4,27 Aa	5,09 Aa	4,81 Aa	2,42 Ba
Feijão de porco	213,75 Ab	224,25 Aa	194,00 Ba	212,00 Ab	3,65 Aa	3,33 Ab	3,86 Aa	3,57 Aa
Aveia de verão	180,75 Bc	192,75 Ba	218,25 Aa	181,25 Bc	4,28 Aa	4,19 Aa	3,40 Aa	4,46 Aa
Mistura	179,00 Ac	205,25 Aa	190,75 Aa	189,00 Ac	3,73 Aa	4,10 Aa	4,51 Aa	3,61 Aa
Crotalária	248,25 Aa	174,00 Bb	166,25 Bb	139,00 Ce	3,99 Aa	4,20 Aa	3,80 Aa	3,43 Aa
Sem cobertura	181,75 Bc	210,00 Aa	205,25 Aa	188,75 Bc	3,41 Aa	3,56 Ab	3,34 Aa	3,52 Aa
CV (%)		7,80				24,19		
Média Geral		193,84				3,71		

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 8. Condutância estomática de vapores de água (Gs) e taxa fotossintética (A) do sorgo em função do uso de coberturas com potencial fitorremediador e da aplicação de herbicidas. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	Gs ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Milheto	0,18 Ab ¹	0,16 Ab	0,18 Ab	0,19 Ab	17,91 Ac	14,54 Bd	19,10 Ab	19,89 Ab
Brachiaria	0,12 Ab	0,14 Ab	0,11 Ab	0,13 Ab	15,36 Ac	16,78 Ac	14,53 Ac	14,39 Ac
Mucuna	0,12 Ab	0,13 Ab	0,10 Ab	0,08 Ab	7,34 Bd	12,21 Ad	7,42 Bd	3,86 Cd
Feijão de porco	0,23 Aa	0,20 Ab	0,26 Aa	0,25 Aa	21,19 Ab	21,22 Ab	24,01 Aa	16,44 Bc
Aveia de verão	0,24 Aa	0,25 Aa	0,17 Ab	0,26 Aa	25,56 Aa	24,02 Ab	12,90 Bc	26,16 Aa
Mistura	0,26 Aa	0,18 Ab	0,20 Ab	0,15 Ab	18,70 Ac	18,43 Ac	18,19 Ab	18,34 Ab
Crotalária	0,12 Ab	0,16 Ab	0,14 Ab	0,12 Ab	16,92 Ac	13,27 Bd	12,57 Bc	16,15 Ac
Sem cobertura	0,28 Aa	0,29 Aa	0,27 Aa	0,31 Aa	22,58 Bb	26,82 Aa	24,39 Ba	27,10 Aa
CV (%)		35,50				12,49		
Média Geral		0,19				17,76		

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.

Tabela 9. Eficiência do uso da água (EUA) e MS do sorgo em função do uso de coberturas com potencial fitorremediador e da aplicação de herbicidas. UFFS, Erechim-RS.

Tratamentos	EUA ($\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$)				MS do sorgo (g)			
	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.	Test.	Diuron	Sulfent.	Diu.+sulf.
Milheto	7,36 Aa ¹	6,04 Aa	6,84 Aa	7,95 Aa	270,14 Bb	300,78 Aa	182,86 Ce	292,02 Ab
Brachiaria	4,98 Aa	4,18 Ab	5,13 Aa	3,88 Ab	245,20 Bc	318,34 Aa	297,40 Ab	252,35 Bc
Mucuna	1,78 Ab	2,47 Ab	1,49 Ac	1,56 Ac	208,64 Cd	238,12 Bc	289,52 Ab	234,09 Bd
Feijão de porco	5,88 Aa	6,72 Aa	6,26 Aa	4,76 Ab	228,74 Bc	252,76 Bb	312,94 Aa	229,33 Bd
Aveia de verão	6,32 Aa	5,90 Aa	3,93 Ab	5,88 Aa	229,26 Cc	264,35 Bb	251,82 Bc	327,44 Aa
Mistura	5,05 Aa	4,65 Ab	4,14 Ab	5,25 Ab	208,58 Cd	267,62 Bb	319,78 Aa	248,34 Bc
Crotalária	4,49 Aa	3,21 Ab	3,40 Ab	4,87 Ab	287,45 Bb	220,36 Cc	218,04 Cd	313,19 Aa
Sem cobertura	7,17 Aa	8,03 Aa	7,49 Aa	7,74 Aa	314,88 Aa	223,74 Cc	267,90 Bc	221,14 Cd
CV (%)		30,65				6,62		
Média Geral		5,15				260,53		

¹ Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a $p < 0,05$, respectivamente. Test.: Testemunha; Sulfent.: Sulfentrazone; Diu.+sulf.: Diuron + Sulfentrazone.